

Brennstoffe, Umwelt und globale Entwicklung

Ingenieurgebiet aus der Fakultät für Chemieingenieurwesen und Verfahrenstechnik

VON PROF. DR.-ING GEORG SCHAUB¹

¹ Engler-Bunte-Institut, Universität Karlsruhe (TH), E-Mail: georg.schaub@ciw.uni-karlsruhe.de

Hintergrund

Die weltweite Energieversorgung, die derzeit zu mehr als 80 % auf den fossilen Rohstoffen Erdöl, Kohle, Erdgas beruht, rückt zunehmend ins Zentrum der öffentlichen Aufmerksamkeit. Die Rohstoff-Vorräte sind begrenzt, mit Reichweiten von etwa 50 Jahren bei konventionellem Erdöl und Erdgas, wenn heutige Verbrauchsströme und bekannte Reserven zu Grunde gelegt werden. Die Vorräte liegen oft in politisch instabilen Gebieten, ungleich über den Globus verteilt. Gleichzeitig steigt der Bedarf weltweit wegen günstiger Wachstumsbedingungen in Schwellen- und Übergangswirtschaften stark an. Als Folge sind die Rohstoffpreise stark gestiegen. Andererseits wirkt sich die Nutzung der fossilen Energierohstoffe global auf die Umwelt aus. Zum Beispiel erwärmt sich derzeit das Klima, ein Effekt, dessen Ausmaß und Bedeutung quantitativ

Tabelle 1: Zeitliche Entwicklungen von Weltbevölkerung, Bedarf und Versorgung mit Kraftstoffen weltweit

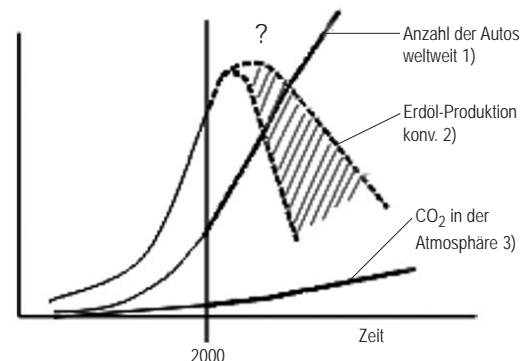
	1960	2000	2030	2050
n Menschen	3 x 10 ⁹	6 x 10 ⁹	8 x 10 ⁹	8,9 x 10 ⁹
n Autos	0,1 x 10 ⁹	0,7 x 10 ⁹	1,4 x 10 ⁹	3 x 10 ⁹
m Erdöl	1,1 x 10 ⁹	3,5 x 10 ⁹	?	?
Anteil Kraftstoffe aus Erdöl	> 97	> 97	?	?

Quellen: UNO, BP, Shell

nicht sicher bekannt sind und deshalb für die Zukunft nur schwer vorhergesagt werden können. Der messbare Temperaturanstieg kann wesentlich dadurch verursacht sein, dass der in den Rohstoffen gespeicherte Kohlenstoff durch Verbrennung in Form von CO₂ in die Atmosphäre gebracht wird und damit den Treibhauseffekt beeinflusst.

In China entspricht derzeit zum Beispiel die Elektrizitätserzeugung pro Kopf etwa einem Sechstel des hiesigen Wertes. Wenn dort der Bedarf bei gleich bleibender Bevölkerungszahl nur auf die Hälfte des westeuropäischen Niveaus steigt, müssten zusätzlich z.B. rund 1000 Kraftwerke à 500 MW Leistung gebaut werden. Bei Verwendung des in China reichlich vorhandenen Rohstoffs Kohle wären damit sehr hohe CO₂-Emissionen verbunden. Der Bedarf an Kraftstoffen für Automobile, als zweites Beispiel, steigt wie bisher stark an

(Tabelle 1). Dem gegenüber ist zu erwarten, dass der bisher wichtigste Rohstoff Erdöl voraussichtlich knapper werden und das Maximum der Produktion überschreiten



▲ **Abbildung 1: Beispiel Kraftstoffe weltweit: Erwartete Entwicklungen der bestimmenden Faktoren (schematisch),**

Quellen: 1) Sustainable Mobility Project 2004, 2) Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2005, 3) Weltbank, IPCC 2001

wird (Abbildung 1). Gleichzeitig wird die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre mit Auswirkungen auf den Treibhauseffekt steigen. Dies bedeutet, dass ein Wachstum auf der Basis bisheriger Rohstoffe und Technologien nur begrenzt vorstellbar ist. Technologische Entwicklungen sind deshalb im Gange, die die Energieversorgung insgesamt effizienter machen, vom Einsatz fossiler Rohstoffe teilweise entkoppeln (Biomasse, Solar-, Windenergie u.a.) und/oder einen Teil des aus fossilen Rohstoffen gebildeten CO₂ langfristig untertage lagern sollen.

Vor diesem Hintergrund führt das

Ingenieurgebiet Brennstoffe, Umwelt und globale Entwicklung in die naturwissenschaftlichen und technischen Grundlagen der Brennstoffnutzung ein, mit Vorbehandlung, Verarbeitung zu Sekundärenergieträgern wie Kraftstoffen und schließlich Verbrennung. Die dort angewendete Verfahrenstechnik ist hoch entwickelt, vielfältig und in vielen Bereichen eingesetzt (Erdölraffinerien, Verbrennungskraftwerke, Erdgasreinigungsanlagen, H₂-Erzeugungsanlagen, Turbinen, Verbrennungsmotoren u.a.). Das Gebiet ist Gegenstand von langjähriger Forschung und Lehre am Engler-Bunte-Institut, in den Bereichen Chemie und Technik von Gas, Erdöl und Kohle sowie Verbrennungstechnik.

Die Struktur des Ingenieurgebietes ist in Abbildung 2 gezeigt, mit den Teilgebieten

- Verarbeitung von Rohstoffen zu stofflichen Sekundärenergieträgern,
- Anwendung/Verbrennung von Brennstoffen

in denen die stofflichen und verfahrenstechnischen Grundlagen, Gebiete aktueller technologischer Innovationen und ihre Potentiale dargestellt werden. Parallel werden die begrenzenden Faktoren für die zivilisatorische Erzeugung und Nutzung von Energie behandelt (globales Ökosystem und Stoffkreisläufe, Verfügbarkeit von Rohstoffen u.a.).

Verarbeitung von Rohstoffen zu stofflichen Sekundärenergieträgern

Bei der Herstellung veredelter Sekundärenergieträger (Kraftstoffe, Heizstoffe u.a.) muss sich die Verfahrenstechnik einem mehrfachen Druck stellen:

- die Anforderungen an die Produkte werden größer, z.B. an die Reinigung von Kraftstoffen im Hinblick auf eine umweltfreundliche Verbrennung,
- die Rohstoffe werden schwieriger zu verarbeiten, im Sinne von Gehalt an Aschen, Verunreinigungen u.a., und
- die Umwandlungs-/Veredelungsverfahren

sollen energieeffizient, d. h. mit möglichst geringem Energieaufwand durchgeführt werden.

Die Vorlesungen Brennstoffe I (Grundlagen und flüssige Brennstoffe, Prof. Schaub) und Brennstoffe II (Gase und Feststoffe, Prof. Reimert) behandeln die Verarbeitung sowohl von fossilen wie von nachwachsenden Rohstoffen. Wichtige Einzelthemen sind die Erdölverarbeitung, Erdgas-Aufbereitung und öffentliche Gasversorgung, Wasserstoffherzeugung, Pyrolyse und Vergasung von Kohle und anderen festen Brennstoffen (Biomasse, Abfälle).

Für das Beispiel Erdölverarbeitung (Abbildung 3) stehen als technologische Herausforderungen aktuell an:

- schlechtere Rohölqualitäten (z. B. Dichte, Schwefel, Aromaten),
- Herstellung von Kraft- und Heizstoffen in Kombination mit hochwertigen petrochemischen Grundstoffen,
- erhöhte Anforderungen an Kraftstoffe,
- Einbindung von Biomasse-Komponenten.

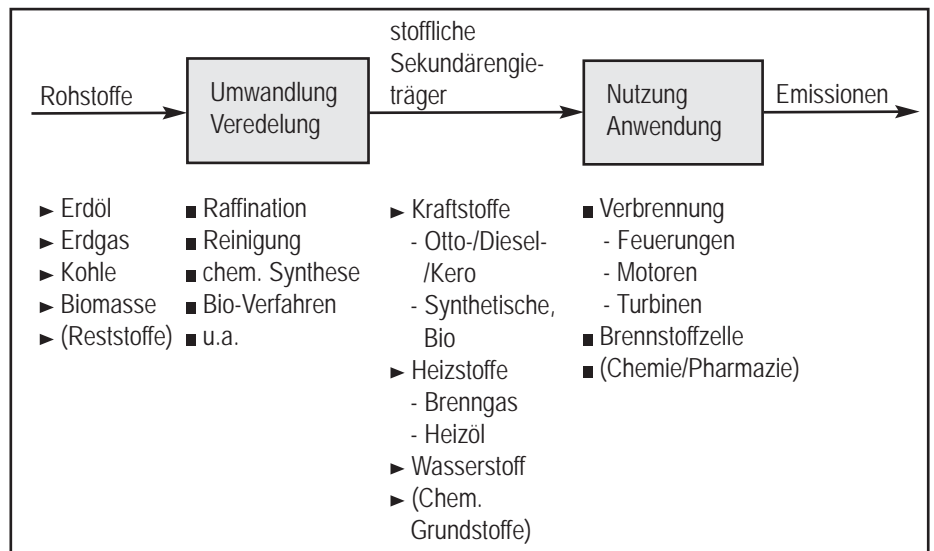
Entsprechende Veränderungen an den Raffinerieprozessen müssen einhergehen mit Optimierungen zur Energieintegration, die den Energiebedarf der Raffinerie minimieren. Angesichts steigender Energiepreise hat es hier in den vergangenen Jahrzehnten große Fortschritte gegeben.

Bei der Wasserstoffherzeugung aus Erd-

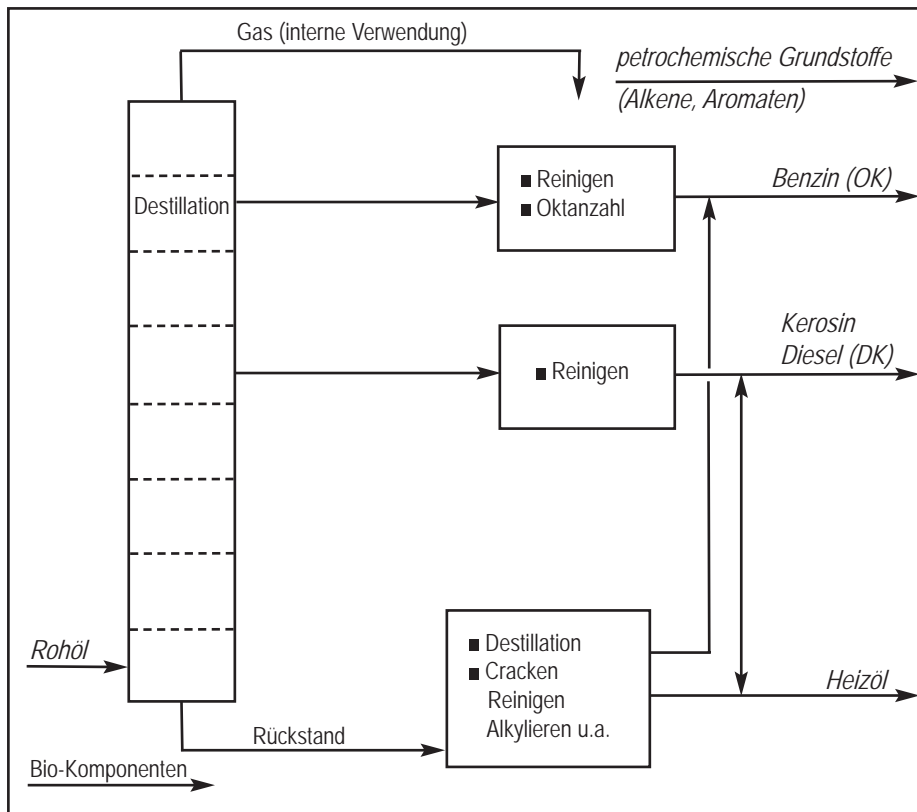
gas für die Brennstoffzelle, als weiteres Beispiel, steht die Aufgabe an, durch kluge Auslegung und Energieintegration kleine Anlagengrößen wirtschaftlich zu ermöglichen. Dazu werden neue Reaktor- und Verfahrensanordnungen, aber auch neue Katalysatoren für CH₄-Reformierreaktionen in Anwesenheit von Schwefelspuren oder zur CO-Entfernung aus dem erzeugten Wasserstoff-Gas entwickelt.

Anwendung/Verbrennung von Brennstoffen

Die Verbrennung von Brennstoffen hat für Energiewandlungssysteme mit hoher Leistungsdichte eine sehr große praktische Bedeutung (Gasturbinen, Verbrennungsmotoren, technische Feuerungen). Bei der Auslegung und apparativen Gestaltung von Verbrennungsprozessen besteht die wesentliche Herausforderung darin, die komplexen Vorgänge bei der Verbrennung zu verstehen und im Hinblick auf die Bildung von Schadstoffkomponenten und auf die Energieeffizienz zu kontrollieren. Die Koppelung von sehr vielen und sehr schnell ablaufenden chemischen Reaktionen mit Stoff- und Wärmeübertragungsvorgängen ist so komplex, dass erst moderne Mess- und Regelungstechniken neue Fortschritte bei Experimenten und damit auch bei der mathematischen Modellierung ermöglichen.



▲ **Abbildung 2: Fließbild von Rohstoffen über stoffliche Sekundärenergieträger zur Energienutzung**



▲ **Abbildung 3: Raffinerie zur Erdölverarbeitung in Deutschland (vereinfacht)**, Quelle: EBI GEK

Dies ist Gegenstand aktueller Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen.

Die Vorlesungen Grundlagen der Verbrennungstechnik (Prof. Bockhorn) sowie Verbrennung und Umwelt (Prof. Bockhorn) bieten eine Einführung in chemische und physikalische Grundlagen der Verbrennung und ihrer Anwendung in technischen Verbrennungssystemen.

Für das Beispiel der Verbrennung in Otto- und Dieselmotoren werden innovative Ansätze bearbeitet, bei denen der Kraftstoff so in den Brennraum des Motors eingespritzt wird, dass brennstoffreiche und brennstoffarme Zonen entstehen. Durch eine derartige gezielte Ladungsschichtung (Kraftstoffverteilung) kann das Zünd- und Brennverhalten im Motor verbessert und die Schadstoffemissionen gemindert werden. Für das Beispiel Gasturbinen gilt die Herausforderung, gleichzeitig den Wirkungsgrad zu erhöhen und die Schadstoffbildung zu mindern. Je höher die Temperatur- und Druckverhältnisse, desto höher der Wirkungsgrad, desto höher aber auch die Bildung der Stickoxide. Hier gilt es Kompro-

misse zu finden, basierend auf dem detaillierten Verständnis der ablaufenden Vorgänge, z. B. im Hinblick auf die NO_x -Bildung. Letzteres ist auch notwendig für die Gestaltung von Verbrennungssystemen für Brennstoffe mit Stickstoff-Anteilen (z.B. kommunaler Abfall). Die chemischen Reaktionen der Stickstoffverbindungen müssen durch Kontrolle der lokalen Reaktionsbedingungen (Temperatur, Partialdrucke) so beeinflusst werden, dass möglichst wenig Stickoxide gebildet werden.

Globale Entwicklung

Lokale und regionale Umwelteffekte (z.B. auf die örtliche Luft- und Wasserqualität) haben in der jüngeren Vergangenheit die technologische Entwicklung stark beeinflusst. Verfahren zur Abgas- und Abwasserreinigung sind heute technisch hoch entwickelt und vielerorts eingesetzt. Dagegen ist das Bewusstsein für globale

Umweltauswirkungen und Zusammenhänge noch im Entstehen. Die Vorlesung Energieflüsse, Stoffkreisläufe und globale Entwicklung (Prof. Schaub) behandelt einleitend die Vorgänge in der Bio-Geosphäre der Erde, den Einfluss menschlicher Tätigkeit und Umweltspekte einer zukünftigen globalen Entwicklung. Im Mittelpunkt steht die Diskussion, welche der potentiell begrenzenden Faktoren für die Entwicklung am ehesten bestimmt werden: die Verfügbarkeit von Rohstoffen einerseits oder auftretende Störungen in globalen Stoffkreisläufen und im Klimasystem andererseits. Im Hinblick auf mögliche Zukunftsstrategien werden verschiedene Kombinationen Rohstoffe - Verfahrenstechnik - Verbrauchs-/Nutzungskultur im Hinblick auf das Ökosystem der Erde quantitativ diskutiert. Unterschiede hier wirken sich auf die spezifischen CO_2 -Emissionen der Volkswirtschaften aus und können zukünftig zu einem Wettbewerbsfaktor werden. ■



▲ **Foto: Steinkohlekraftwerk Gelsenkirchen-Scholven**

Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Steinkohlekraftwerk_Gelsenkirchen-Scholven